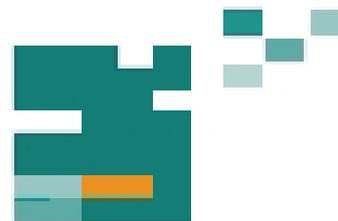


**51. IWK**  
Internationales Wissenschaftliches Kolloquium  
International Scientific Colloquium



PROCEEDINGS

11-15 September 2006

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING  
AND INFORMATION SCIENCE**



**INFORMATION TECHNOLOGY AND  
ELECTRICAL ENGINEERING -  
DEVICES AND SYSTEMS,  
MATERIALS AND TECHNOLOGIES  
FOR THE FUTURE**

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=12391>

## Impressum

Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff

Redaktion: Referat Marketing und Studentische  
Angelegenheiten  
Andrea Schneider

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Susanne Jakob  
Dipl.-Ing. Helge Drumm

Redaktionsschluss: 07. Juli 2006

Technische Realisierung (CD-Rom-Ausgabe):  
Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau  
Dipl.-Ing. Christian Weigel  
Dipl.-Ing. Marco Albrecht  
Dipl.-Ing. Helge Drumm

Technische Realisierung (Online-Ausgabe):  
Universitätsbibliothek Ilmenau  
[ilmedia](#)  
Postfach 10 05 65  
98684 Ilmenau

Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.  
Werner-von-Siemens-Str. 16  
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2006

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung der Redaktion strafbar.

ISBN (Druckausgabe): 3-938843-15-2  
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-938843-16-0

Startseite / Index:  
<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=12391>

D. Westermann/P. Moreno/P. Müller/F. Büchner

## **Einsatz dezentraler netzgekoppelter Stromerzeugungsanlagen im städtischen Versorgungsgebiet**

### **Einführung**

In Zukunft ist mit einem verstärkten Einsatz dezentraler netzgekoppelter Stromerzeugungsanlagen DEA in städtischen Versorgungsgebieten zu rechnen. Diese Anlagen werden vorrangig in Kraftwärmekopplung unter anderem mit Erdgas betrieben und dienen der Versorgung von Wohngebäuden mit Wärme und elektrischer Energie. Derzeitige Hersteller von Brennstoffzellenanlagen sehen die Markteinführung ihrer Systeme im Leistungsbereich unter  $10 \text{ kW}_{\text{el}}$  vor. Weiterhin ist mit einem verstärkten Einsatz von Photovoltaikanlagen zu rechnen.

Vor diesem Hintergrund und den sich aus dem „Erneuerbaren Energien Gesetz“ EEG möglicherweise ergebenden Einspeisepotentialen ist von Interesse, welche technischen und wirtschaftlichen Konsequenzen sich für den Betrieb von Nieder- und Mittelspannungsnetzen der Verteilnetzbetreiber (VNB) aus dem Einsatz solcher netzgekoppelten Stromerzeugungsanlagen in Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie zur Nahwärmeversorgung in Wohngebäuden ergeben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Niederspannungs-Netzbezirke bezüglich Struktur und eingesetzter Betriebsmittel eine hohe Divergenz aufweisen.

Auf Basis einer Bestimmung der möglichen derzeitigen Stromerzeugungsanlagen sind die technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen auf den Betrieb von Niederspannungsnetzen sowie der vorgelagerten Mittelspannungsnetze zu bestimmen. Dabei ist ebenso von Interesse, welche Maßnahmen zur Stabilisierung der Elektroenergieversorgung und der Gewährleistung der Versorgungszuverlässigkeit zu treffen sind.

Die in der Vergangenheit entwickelte und heute noch weitgehend bestehende Philosophie der nationalen Energieversorgung fokussiert überwiegend darauf, mittels großer Kraftwerkseinheiten zentral die Grund-, Mittel- und Spitzenlast zu erzeugen und über Hochspannungsnetze zu den Lastschwerpunkten zu übertragen, dort zu transformieren und über Mittel- bzw. Niederspannungsverteilnetze bis zum Endverbraucher zu verteilen.

In den vergangenen Jahren sind dezentrale Erzeugungssysteme zur technologischen „Marktreife“ entwickelt worden. Dazu zählen neben der „lokalisierten“ Kraft-Wärme-Kopplung (Motoren-BHKW, Microgasturbine, Brennstoffzelle usw.) auch Windenergieanlagen, kleinere Wasserkraftwerke, Erzeugungseinheiten auf der Grundlage von Biomasse sowie die Photovoltaik. Aufgrund dieser ökologisch und/oder ökonomisch induzierten Entwicklung muss davon ausgegangen werden, dass die Energieerzeugung durch dezentrale Strukturen an Bedeutung gewinnen wird. Eine derartige Entwicklung führt zwangsläufig zu einer Veränderung der Systemführung und Überwachung der unteren Netzebenen und erfordert daher die „intelligente“, informationstechnologisch gestützte Einbindung und Steuerung dieser dezentralen Einheiten im Rahmen der Energieversorgungskonzepte.

Wenn solche dezentralen Erzeugungsanlagen zukünftig einen höheren Beitrag zur elektrischen Versorgung als zum jetzigen Zeitpunkt liefern, ist zu prüfen, in wieweit Anpassungsmaßnahmen in den Verteilungsnetzen erforderlich sind. Für diese netzplanerischen Tätigkeiten ist es unbedingt erforderlich, einen allgemeinen Analyseprozess mit klar definierten Prozessschritten zu definieren, der auf unterschiedlichste Netzstrukturen angewendet werden kann. Im Rahmen dieses Beitrages wird ein derartiger Analyseprozess vorgestellt, der eine fundierte Vorgehensweise erlaubt. Auf Basis der Ergebnisse der im Folgenden detailliert vorgestellten Analyseschritte können nicht nur Aussagen über die Auswirkungen von DEA auf den Netzbetrieb getroffen, sondern auch planerische Vorgaben für netzleitetechnische Einrichtungen gemacht werden.

Nach einer allgemeinen Darstellung des Analyseprozesses im nächsten Abschnitt erfolgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse im Rahmen einer beispielhaften Anwendung auf das Netz der Stadtwerke Leipzig.

# Analyseprozess

Zur Lösung der benannten Aufgabenstellung werden im nachfolgenden wesentliche Betrachtungsschwerpunkte skizziert.

## Abschnitt I: Ist-Analyse

Dieser Bearbeitungsschritt (siehe Abbildung 1) analysiert den derzeitigen Stand bezüglich

- dezentraler Erzeugungsanlagen
- typischer Netzstrukturen
- allgemeiner Berechnungsverfahren einschließlich gesetzlicher Regelungen

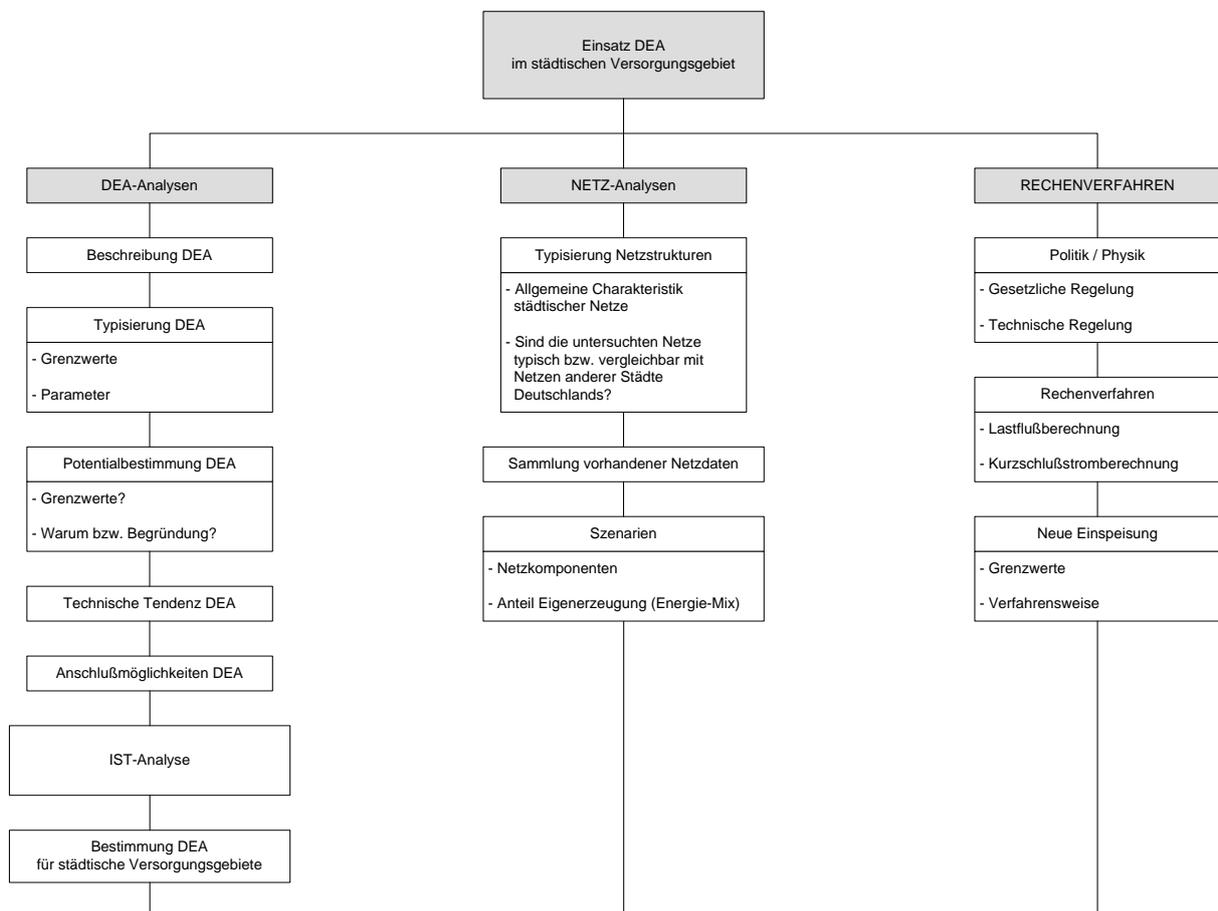


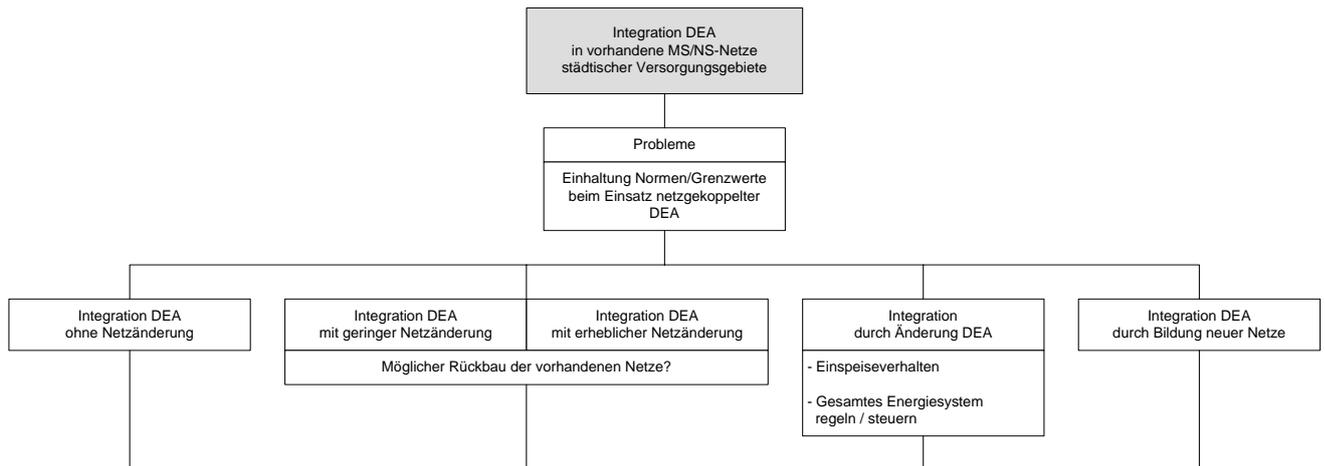
Abbildung 1: Abschnitt I – Ist-Analyse

## Abschnitt II: Arbeitshypothese

Ausgangspunkt tiefer gehender Untersuchungen stellt die Definition folgender Arbeitshypothese dar:

„Die Integration von DEA in vorhandene MS/NS-Netze ist realisierbar.“

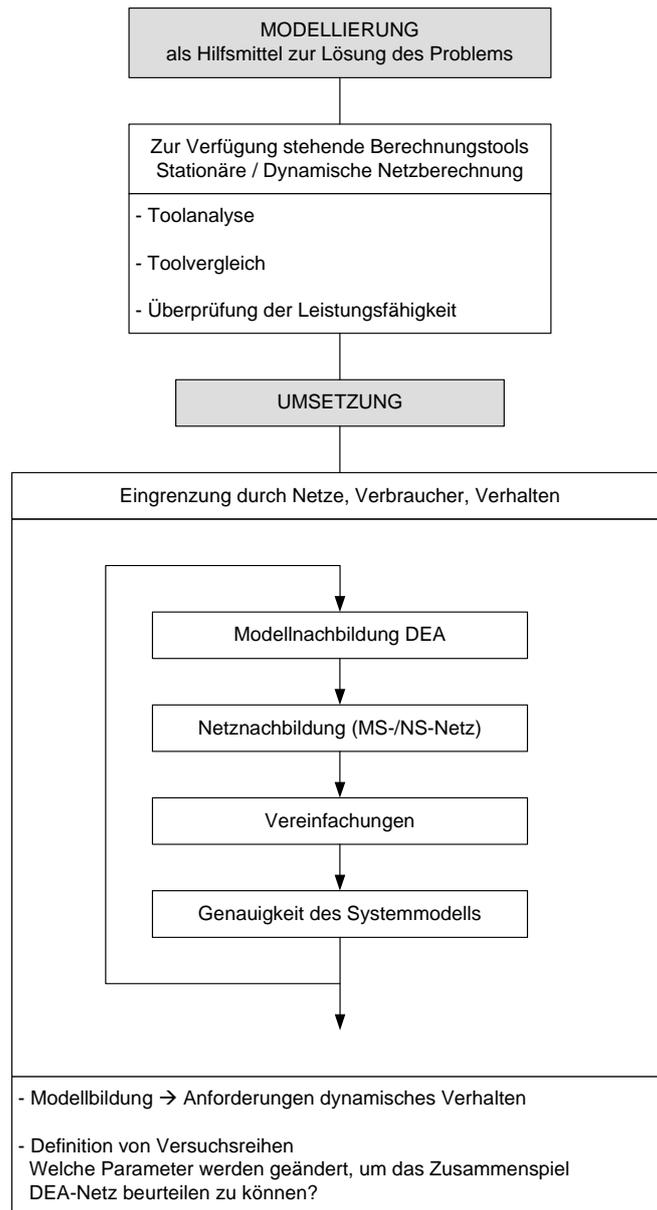
Dabei sind verschiedene Szenarien auf die praktische Realisierbarkeit dieser Integrationsmöglichkeiten zu prüfen (siehe Abbildung 2).



**Abbildung 2: Abschnitt II - Arbeitshypothese**

## Abschnitt III: Modellierung

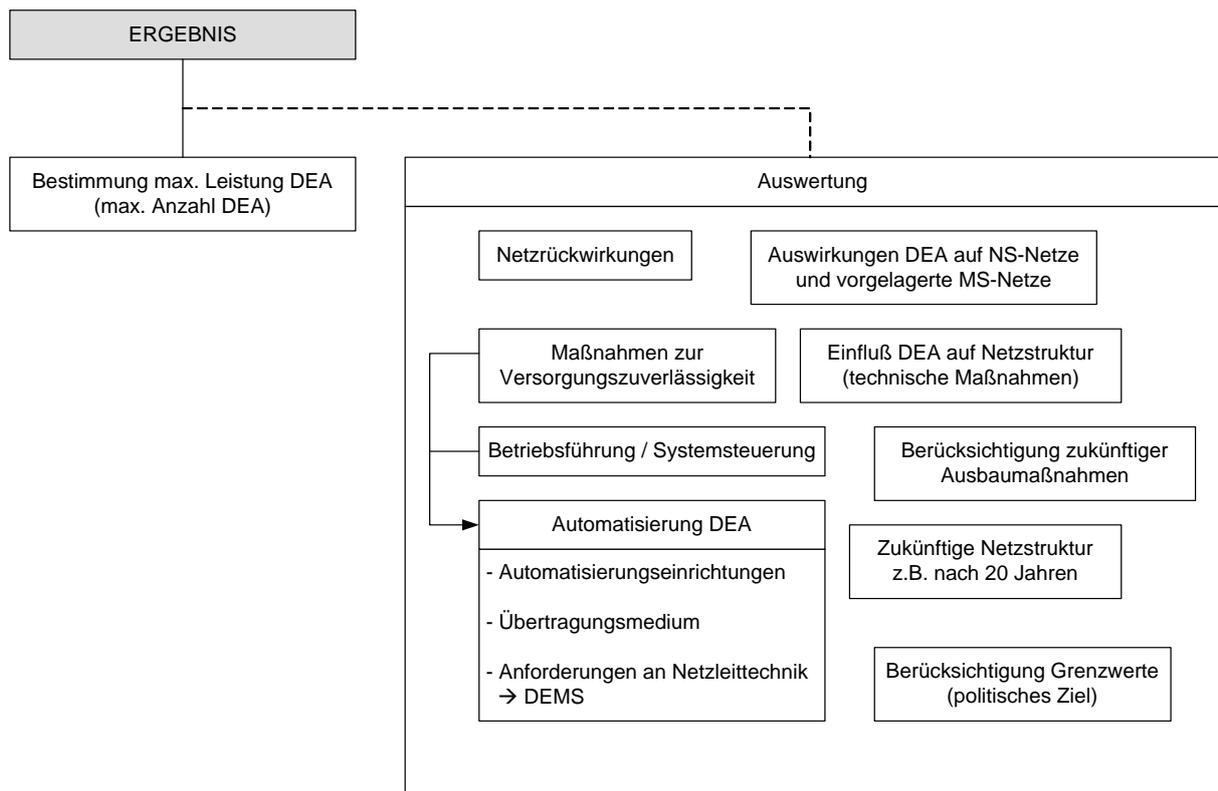
Als Hilfsmittel zur Lösung des Problems bzw. Aufgabenstellung wird in diesem Abschnitt eine Modellierung sowohl der Netze als auch der DEA berücksichtigt (siehe Abbildung 3). Eine Modellierung stellt in den meisten Fällen nicht nur eine wirtschaftliche Lösung dar, sondern auch das Erzielen hinnehmbarer Ergebnisse, die für künftig wichtige technische Entscheidungen von Bedeutung sind.



**Abbildung 3: Abschnitt III - Modellierung**

#### Abschnitt IV: Ergebnis

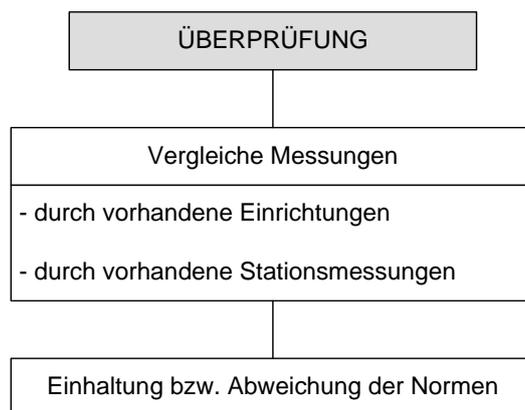
In Auswertung der Ergebnisse muss es möglich sein, die maximal installierbare Leistung von DEA bei Einhaltung von Rahmenbedingungen zu bestimmen. Dabei ist von besonderem Interesse, die technischen Randbedingungen zu fixieren, bei denen diese maximale Leistung bestimmt werden kann (siehe Abbildung 4). Am Beispiel eines typischen städtischen Energieversorgungsbetriebes ist die Praktikabilität der Ergebnisse zu prüfen.



**Abbildung 4: Abschnitt IV - Ergebnis**

### Abschnitt V: Überprüfung

Zur Überprüfung der Ergebnisse stehen verschiedene Informationen städtischer Netze zur Verfügung. In diesem Abschnitt wird außerdem festgestellt, inwiefern eine Einhaltung der Normen stattfindet. Weiterhin wird überprüft, ob die derzeitigen Festlegungen ggf. verändert werden müssen (siehe Abbildung 5).



**Abbildung 5: Abschnitt V - Überprüfung**

## Abschnitt VI: Schlussfolgerungen

In diesem Abschnitt erfolgt eine Validierung der Arbeitshypothese. Es wird außerdem an dieser Stelle festgelegt, welche Konsequenzen sich sowohl technisch als auch wirtschaftlich für den Netzbetreiber beim Einsatz von DEA ergeben (siehe Abbildung 6).

SCHLUSSFOLGERUNGEN
- Bestätigung oder Kritik der Hypothese
- Konsequenzen für Netzbetreiber technisch wirtschaftlich
- Weitere Untersuchungen

**Abbildung 6: Abschnitt VI - Schlussfolgerungen**

## Anwendungsbeispiel

### DEA-Analysen

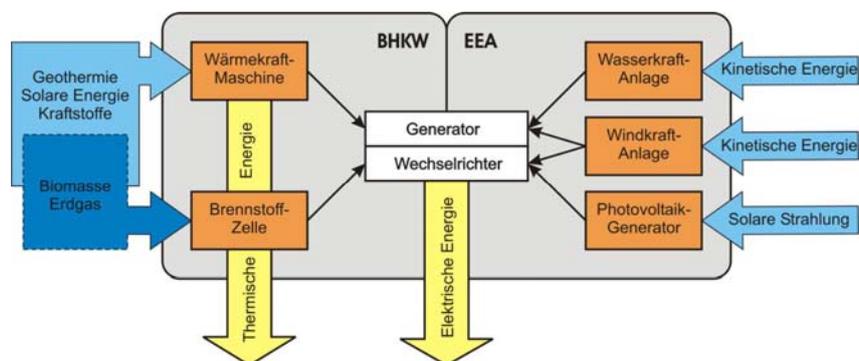
*Allgemeine Definition „Dezentrale Energieversorgung“:*

Unter dezentraler Energieversorgung versteht man zunächst die Energiebereitstellung durch kleine Anlagen in Verbrauchernähe. Diese Definition hat eine quantitative und eine geografische Dimension. Die Energie wird nicht wie in der Vergangenheit durch vereinzelte, zentral orientierte Großkraftwerke, sondern durch wesentlich kleinere aber mehr Energieumwandlungsanlagen zur Verfügung gestellt. Die neuen Energieerzeuger stehen unmittelbar dort, wo die Energie gebraucht wird. Somit befindet sich eine Vielzahl kleiner Kraftwerke in der Nähe der Verbraucher. Die Folge ist eine sich verändernde Erzeugerstruktur sowie geänderte Anforderungen an Netzbetrieb, Energiemanagement und Schutztechnik. Dabei schließen sich die zentrale und die dezentrale Energieversorgung keinesfalls aus. Beide Energiesysteme müssen nebeneinander bestehen und sich gegenseitig ergänzen.

In Zukunft werden nicht nur die dezentralen Energieversorgungsanlagen zu verteilten „virtuellen“ Kraftwerken zusammengefasst, die dezentralen Verbraucher werden mit eingebunden. Erzeugung, Verteilung und Verbrauch werden zu dezentralen Energieversorgungssystemen und mit Hilfe geeigneter dezentraler Energiemanagementsysteme gesteuert. [1]

*DEA-Typisierung:*

Die verschiedenen Technologien von „Dezentralen Energieerzeugungs-Anlagen“ DEA lassen sich in den unterschiedlichen uns bekannten Energieumwandlungsketten wieder finden. Eine allgemeine Darstellung der verschiedenen DEA-Technologien zur Energiebereitstellung wird in Abbildung 7 gezeigt:



**Abbildung 7: Übersicht Dezentrale Erzeugungs-Anlagen**

### DEA-Potentialbestimmung:

Die Tabellen 1, 2 und 3 zeigen beispielhaft technische Kennwerte von ausgewählten dezentralen Erzeugeranlagen, die heute als Serienprodukt auf dem Markt erhältlich sind.

PV-Module	
Merkmale	Eigenschaften
Modultypen	Monokristallin, Polykristallin, Amorph
Nennleistungsbereich pro Modul	je nach Typ 30 - 200 W
Modulwirkungsgrad	Monokristallin: 15 - 18% Polykristallin: 13 - 15% Amorph: 6 - 8%
Anforderung an Aufstellung	verschattungsfrei Südausrichtung 30° Neigung gegenüber Horizontale
Flächenbedarf pro kWp	Kristallin: ca. 7 - 10 m <sup>2</sup> Amorph: ca. 20 m <sup>2</sup>
zu erwartender Ertrag	Deutschland: ca. 850 kWh / kWp jährlich
Investitionskosten	ca. 5 - 10 T€/ kWp
Wartungskosten	nahezu wartungsfrei
Amortisationszeit	ca. 15 Jahre
Herstellergarantien	Produkt: 2 - 5 Jahre Leistung: 20 - 25 Jahre auf 80% Nennleistung

Tabelle 1: Photovoltaik-Anlagen (PV) [2]

BHKW-Anlagen	
Merkmale	Eigenschaften
Nennleistungsbereich	ab 4 kW bis in MW-Bereich
Einsatzbedingungen	kontinuierlicher Wärme- und Strombedarf
Investitionskosten / Amortisation Mikro-BHKW, Motor	ca. 1.500 - 2.000 €/ kW Nennleistung ca. 5 - 7 Jahre
Wartungskosten	allgemein ca. 5% der Investitionskosten pro Jahr
Verfügbarkeit	ganzjährig, abzüglich Wartung
Primärenergiequellen	Erdgas, Biogas, Heizöl, Pflanzenöl, Kraftstoffe

Tabelle 2: Block-Heiz-Kraft-Werk-Anlage (BHKW) [3], [4]

Brennstoffzellenkonzepte			
Typ	Leistungsbereich	Temperaturbereich	Anwendung / Merkmale
<b>AFC</b> Alkaline Fuel Cell	einige W bis einige 100 kW	80 - 100 °C	Raumfahrt, Militär hochreiner Wasserstoff notwendig
<b>PEMFC</b> Proton Exchange Fuel Cell	einige W bis einige 100 kW	60 - 120 °C	BHKW, Batterieersatz, Kfz bei Erdgas aufwendige Reformation notwendig
<b>DMFC</b> Direct Methanol Fuel Cell	einige W bis einige 100 kW	70 - 100 °C	Batterieersatz, Kfz, Kleinverbraucher (kW-Bereich) interne Reformation von Methanol
<b>PAFC</b> Phosphoric Acid Fuel Cell	einige 10 kW bis einige 100 kW	200 °C	BHKW (50 kW - 500 kW) Anlage mit 200 kW kommerziell verfügbar
<b>MCFC</b> Molten Carbonate Fuel Cell	einige 100 kW bis einige MW	650 °C	BHKW, Industrieanwendungen (300 kW - 1.000 kW) kein reiner Wasserstoff verwendbar
<b>SOFC</b> Solid Oxide Fuel Cell	einige kW bis einige MW	700 - 1000 °C	BHKW, APU, Industrieanwendungen (1 kW - 1.000 kW) interne Erdgasreformation

**Tabelle 3: Brennstoffzellen-Anlagen (BZ) [5]**

*Potentialbestimmung DEA-Einsatz in einem städtischen Netz:*

Am Beispiel der Stadt Leipzig wurde unter Zuhilfenahme eines eigens entwickelten Berechnungsprogramms eine Potentialbestimmung für DEA-Einsatz untersucht.

Für die Ermittlung des Potentials von PV-Anlagen (Tabelle 4) wurde von der Gebäude- und Freifläche der Stadt ausgegangen [6]. Diese beträgt ca. 83 km<sup>2</sup>. Die gesamte Fläche der Stadt beträgt ca. 298 km<sup>2</sup>. Unter den nachstehend dargestellten Annahmen bzw. Bedingungen ergeben sich für PV-Anlagen eine installierbare Gesamtleistung von 2,07 MWp mit einem Energieertrag von 2,11 GWh. Der Flächenbedarf pro kWp beträgt mit heutiger Technik ca. 10 m<sup>2</sup>. Der theoretisch durchschnittliche Energieeinfall für diese Region beträgt 1.020 kWh/m<sup>2</sup> und der Wirkungsgrad von PV-Modulen ca. 10%.

PV-Anlagen					
<b>Gebäude und Freifläche</b>	82.720.000,00	m <sup>2</sup>	100,00	%	
<b>Anteil nutzbarer Gebäudegrundfläche</b>	827.200,00	m <sup>2</sup>	1,00	%	Annahme
<b>Südausrichtung Dächer</b>	206.800,00	m <sup>2</sup>	25,00	%	Annahme
<b>nutzbare Dachfläche</b>	20.680,00	m <sup>2</sup>	10,00	%	Annahme
<b>Flächenbedarf pro kWp</b>	10,00	m <sup>2</sup>			Festwert
<b>installierbare Gesamtleistung</b>	2,07	MWp			Ergebnis
<b>durchschnittlicher Energieeinfall</b>	1.020,00	kWh / m <sup>2</sup>			Festwert
<b>Wirkungsgrad</b>	10,00	%			Festwert
<b>Energieertrag</b>	2,11	GWh			Ergebnis

Legende	
fest	<span style="background-color: #ffff00; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>
automatisch	<span style="background-color: #90ee90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>
wählbar	<span style="background-color: #ffa500; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>

**Tabelle 4: PV-Potential der Stadt Leipzig**

Für die Ermittlung des Potentials von BHKW-Anlagen (Tabelle 5) wurde von der Adressenanzahl der Stadt ausgegangen [7]. Die Adressenanzahl entspricht in etwa der Anzahl der Hausanschlüsse (HAK). Die Anzahl der BHKW-Anlagen ergibt sich aus der Annahme, dass an 10% der gesamten Hausanschlüsse BHKW-Anlagen angeschlossen werden, und zwar eine Anlage pro HAK. Unter diesen und den nachstehend dargestellten Bedingungen ergeben sich für BHKW-Anlagen eine installierbare Gesamtleistung von 66,11 MWe mit einem Energieertrag von 405,36 GWh/a. Um alle Vergünstigungen durch das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) auszuschöpfen, wird eine Jahresnutzungsdauer von mindestens 70% angesetzt.

BHKW-Anlagen				
<b>Adressen (Anzahl HAK)</b>	66.105,00		100,00 %	
<b>Anzahl BHKW-Anlagen</b>	6.610,50		10,00 %	Annahme
<b>Elektrische Leistung pro Anlage</b>	100,00	kWe		Annahme
<b>Anteil eingespeister Leistung pro Anlage</b>	10,00	kWe	10,00 %	Annahme
<b>installierbare Gesamtleistung</b>	66,11	MWe		Ergebnis
<b>Jahresnutzungsdauer</b>	70,00	%		
<b>Energieertrag pro Jahr</b>	405,36	GWh / a		

Legende	
fest	Festwert
automatisch	
wählbar	Ergebnis

**Tabelle 5: BHKW-Potential der Stadt Leipzig**

*Auswertung:*

Zusammenfassend wurde ermittelt, dass unter den beschriebenen Randbedingungen im Stadtgebiet von Leipzig, eine theoretische Erhöhung der dezentralen Einspeisungen von 24% gegenüber dem bisherigen Stand (2004) möglich ist (siehe Tabelle 6 bzw. Abbildung 8). Die Zahlen basieren auf dem derzeitigen technischen Stand der handelsüblichen DEA-Anlagen. [8]

Stromabsatz Stadt Leipzig 2004				
Belastung / Arbeit	1.573,80	GWh	100,00	%
Energieeigenerzeugung Stadt Leipzig 2004				
GuD	679,04	GWh	43,15	%
BHKW	26,60	GWh	1,69	%
WKA	0,88	GWh	0,06	%
PV	0,21	GWh	0,01	%
<b>Summe</b>	<b>706,73</b>	<b>GWh</b>	<b>44,91</b>	<b>%</b>
Energieeigenerzeugung Stadt Leipzig mit geschätzter DEA-Potentialbestimmung				
GuD	679,04	GWh	43,15	%
BHKW	405,36	GWh	25,76	%
PV	2,11	GWh	0,13	%
<b>Summe</b>	<b>1.086,51</b>	<b>GWh</b>	<b>69,04</b>	<b>%</b>

Tabelle 6: DEA-Potential der Stadt Leipzig

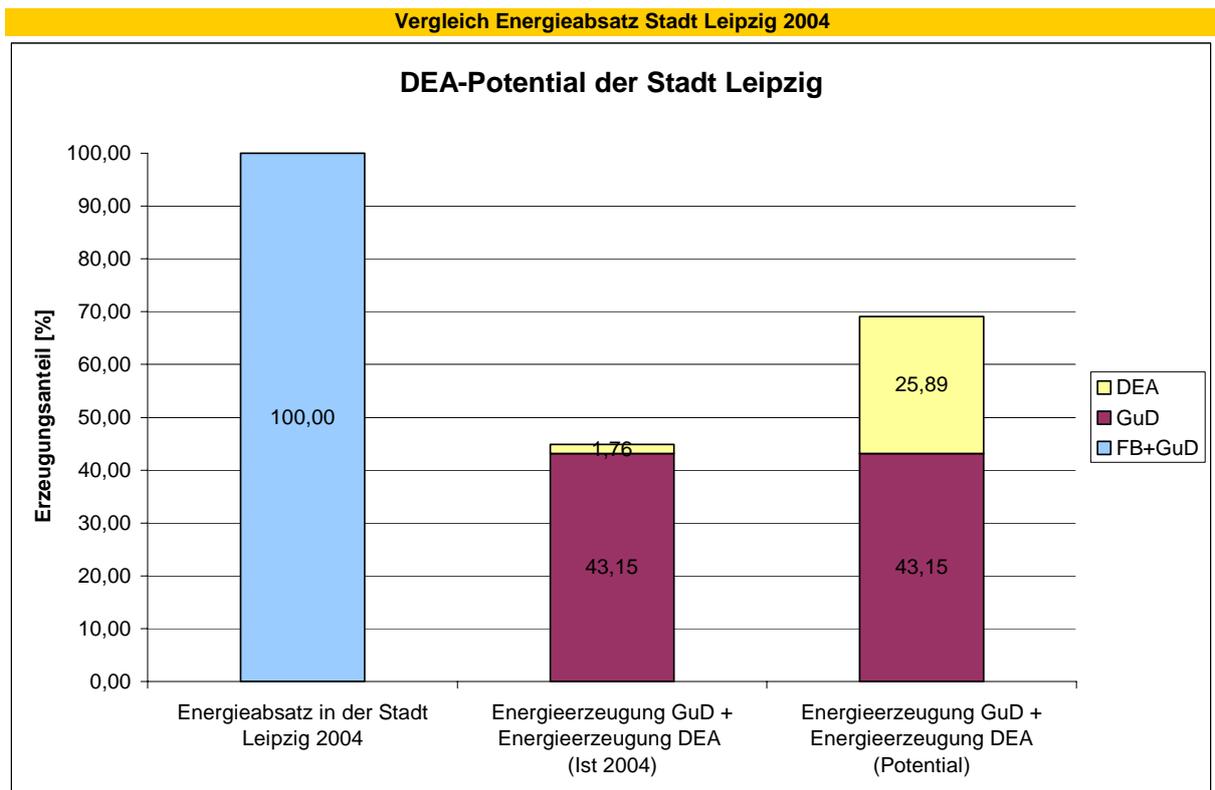
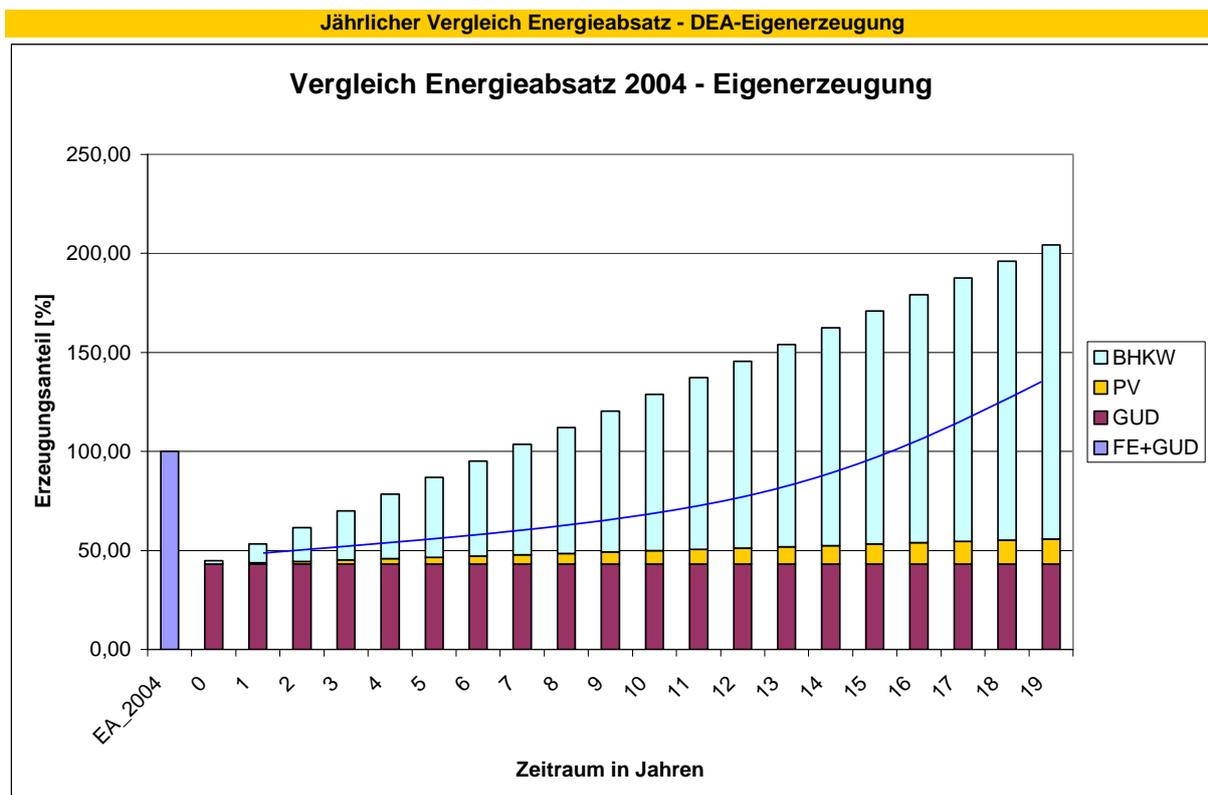


Abbildung 8: DEA-Potential der Stadt Leipzig

Abkürzungen:

- FB Fremdbezug (eingekaufte Energie)
- GuD Gas- und Dampfturbine (Eigenerzeugung)
- DEA Dezentrale Erzeugeranlage (Eigenerzeugung)

Unter der Annahme, dass sich bei PV-Anlagen der Anteil der nutzbaren Gebäudefläche um 5% des Anfangswertes (2004) und bei BHKW-Anlagen deren Anzahl um 3% des Anfangswertes (2004) jährlich erhöhen, ergibt sich den in Abbildung 9 dargestellten grafischen Vergleich zwischen der gesamten Energieerzeugung der Stadt Leipzig (2004) und der DEA-Eigenerzeugung in den Folgejahren:



**Abbildung 9: Jährlicher Vergleich DEA-Potential der Stadt Leipzig (ein mögliches Szenario)**

Abkürzungen:      EE      Energieerzeugung  
                          FB      Fremdbezug (eingekaufte Energie)  
                          GuD      Gas- und Dampfturbine (Eigenerzeugung)

Der Erzeugungsanteil von PV-Anlagen fällt nach 20 Jahren wesentlich gering aus als im Vergleich zum Energiebeitrag von BHKW-Anlagen, deren Energiebetrag bereits nach 7 Jahren die eingekaufte Energie (Fremdbezug) der Stadt Leipzig ausgeglichen hat. Einen möglichen realistischen Wachstumsverlauf von DEA stellt die nichtlineare Kurve in der Abbildung 9 dar. Diese Abbildung lässt außerdem einen Einblick in die „Technische Tendenz von DEA“ zu.

### *Technische Tendenz DEA:*

PV-Anlagen im städtischen Versorgungsgebiet werden zukünftig eine Rolle spielen, aber keine wesentliche, wenn es um die Höhe des Energiebeitrages geht. Aufgrund der Höhe des Energiebeitrages und anders als bei PV-Anlagen rechnet man in den nächsten Jahren mit einem verstärkten Einsatz von BHKW-Anlagen im Stadtgebiet, die vor allem mit Erdgas betrieben werden. Brennstoffzellenanlagen werden in der Zukunft eine sehr große Rolle spielen. Es sind zwar jetzt auf dem Markt einige BZ-Anlagen als Serienprodukt erhältlich, allgemein gilt aber, dass sich diese Technologie noch in Entwicklungsstadium befindet. Gemäß der derzeitigen Planung soll bei BZ-Anlagen Erdgas als Übergangsbrennstoff herangezogen werden, bis Wasserstoff in ausreichendem Maße bereitgestellt werden kann. Insbesondere bei Hausenergieversorgungssystemen auf BZ-Basis, die derzeit erprobt werden, wird vorzugsweise Erdgas als Energieträger herangezogen, weil eine flächendeckende Infrastruktur bereits über das Gasleitungsnetz vorhanden ist. Bei Erdgas handelt es sich nach wie vor um einen fossilen Primärenergieträger, so dass weiterhin wertvolle Ressourcen dezimiert werden und die Umwelt belastet wird. Aber die Erdgasnutzung ist bereits ein entscheidender Schritt weg vom Mineralöl in Richtung Wasserstoff, weil auf diese Weise frühzeitig Erfahrungen mit dieser neuen Technologie gesammelt werden können. [9]

### Netz-Analysen

#### *Netztypisierung:*

Im Rahmen dieser Arbeit wird nach einer allgemeinen Lösung für eine globale Aufgabenstellung gesucht. Auch aus diesem Grund ist es notwendig, mit typischen Netzstrukturen zu arbeiten. Um diese Voraussetzung zu erfüllen, stellt sich also die Frage, ob die Netzeigenschaften der zu untersuchenden Stadt typisch sind. Die Antwort auf diese Frage lässt sich mit einem direkten Vergleich der Netzeigenschaften der zu untersuchenden Stadt mit den typischen Netzeigenschaften anderer Städte beantworten. In der Tabelle 7 ist dieser Vergleich am Beispiel der Stadt Leipzig dargestellt und daraus resultierend kann man behaupten, dass es sich bei den Netzeigenschaften der Stadt Leipzig um ein typisches Stadtnetz handelt.

Allgemeine Charakteristik städtischer Netze			
	Typische Merkmale	Deutschland	Stadt Leipzig
MS	Netzstrukturen Netzbezirke	Strahlen-, Ring-, Maschennetz	offene Ringnetze Strahlennetz betrieben
	Nennspannung (kV)	20 / 10	10
	KS-Leistungen (MVA)	75 - 250	in diesem Bereich
	Max. Spannungsabweichung	± 5%	± 5%
NS	Nennleistung (kVA) Stationstransformatoren	50 - 630 Dyn5	150 - 630 Dyn5
	Verkabelung Netzbezirken	150 mm <sup>2</sup> Al	98%
	Freileitungen	70 mm <sup>2</sup> Al (95 mm <sup>2</sup> Al isoliert)	70 mm <sup>2</sup> Al (95 mm <sup>2</sup> Al isoliert)
	Leitungsabgänge Netzstation	Stadtgebiet (4 - 6); Landgebiet (2 - 4)	<b>Stadtgebiet (8 - 12); Landgebiet (4 - 8)</b>
	Länge Netzstrahlen (m)	100 - 600	100 - 600
	Abstand Hausanschlüsse (m)	10 - 50	10 - 50
	WE pro Hausanschluss	1 - 80	1 - 80
	Durchschnittlicher Jahres- verbrauch pro Abnehmer (kWh)	1800 - 4300	<b>1500 - 4300</b>

Tabelle 7: Vergleich allgemeiner Netzeigenschaften [10], [11]

## Zusammenfassung und Ausblick

Für die Bewertung des Einsatzes dezentraler netzgekoppelter Stromerzeugungsanlagen im städtischen Versorgungsgebiet ist ein allgemeiner Analyseprozess vorgestellt und beispielhaft abschnittsweise auf das Netz der Stadtwerke Leipzig angewendet worden. Ein erster Schritt bestand in der Definition unterschiedlicher Szenarien bezüglich Netzkomponenten und DEA-Mix.

Durch die Anwendung des allgemeinen Analyseprozesses auf ein Stadtnetz konnten einige Unbekanntes geklärt werden, die für die Verfeinerung weiterer Schritte in dieser Aufgabenstellung eine Voraussetzung darstellen. Bei der Untersuchung des Netzes der Stadtwerke Leipzig konnte unter anderem das Potential verschiedener DEA festgestellt werden, die sich für den Einsatz in Nieder- und Mittelspannungsnetzen eines Stadtgebietes eignen, wie zum Beispiel PV-Module mit einem Nennleistungsbereich pro Modul zwischen 30 und 200 W, BHKW-Anlagen mit einem Leistungsbereich ab 4 kW bis in MW-Bereich und BZ-Anlagen mit einem Leistungsbereich von einigen W bis einigen MW.

Es konnte außerdem mittels eines Berechnungsprogramms festgestellt werden, dass das Potential einer Stadt für den Einsatz von DEA unter bestimmten Annahmen kalkuliert werden kann. So ergab sich am Beispiel der Stadt Leipzig eine mögliche Potentialerhöhung von DEA um ca. 24% im Vergleich zum derzeitigen Stand.

In einem nächsten Schritt werden die im Analyseprozess noch zu realisierenden Untersuchungen durchgeführt.

#### References:

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) an der Hochschule für Technik und Wirtschaft: Tagungsband BMU-Fachtagung. „Perspektiven dezentraler Energiesysteme“ Mikro-KWK, Arealnetze, Virtuelle Kraftwerke, Anreizsysteme. ICC-Berlin: 26.01.2005
- [2] Bundesverband Solarindustrie: Marktdaten Photovoltaik 2004. [www.bsi-solar.de/marktdaten.asp](http://www.bsi-solar.de/marktdaten.asp)
- [3] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch ASUE e.V.: BHKW-Kenndaten 2005. Verlag Rationeller Energieeinsatz Kaiserslautern
- [4] Schmitz, Karl W.; Schaumann, G. (Hrsg.): Kraft-Wärme-Kopplung. Heidelberg 2005, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2005, 3. erw. Auflage
- [5] Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft Brennstoffzelle mbH (EBZ): [www.ebz-dresden.de](http://www.ebz-dresden.de)
- [6] Amt für Geoinformation und Bodenordnung Leipzig: Leipzig in Zahlen (Stand 2005). [www.leipzig.de](http://www.leipzig.de)
- [7] Amt für Statistik und Wahlen Leipzig: Kleinräumige Gliederung (Stand 30.06.2004)
- [8] Stadtwerke Leipzig GmbH: Daten und Fakten 2002 bis 2004 im Überblick. [www.swl.de/de/home/daten\\_fakten/allgemein.htm](http://www.swl.de/de/home/daten_fakten/allgemein.htm)
- [9] Geitmann, S.; Jermer, B.: Die H2 Wasserstoff CD. Hydrogeit Verlag; novalink mediafactory. [www.hydrogeit-verlag.de](http://www.hydrogeit-verlag.de), [www.novalink.de](http://www.novalink.de)
- [10] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen. [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)
- [11] Scheffler, J.: Betrieb und Kenngrößen des Niederspannungsnetzes der Stadtwerke Leipzig Elektrizitätswirtschaft, 2001
- [12] König, N.: Entwicklungstendenzen in der Stromerzeugung. VDE Kongress 2004
- [13] Krewitt et al.: Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung. Berlin 2004
- [14] Karl, J.: Dezentrale Energiesysteme. Neue Technologien im liberalisierten Energiemarkt. Oldenburg Wirtschaftsverlag GmbH 2004
- [15] Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V. FGH: Workshop Virtuelle Kraftwerke. Unna, 10.06.2005
- [16] Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung: [www.bkww.de](http://www.bkww.de), 2004
- [17] hessenEnergie: Mikrogasturbinen im Markt der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, 2004
- [18] VDEW: Planung und Betrieb städtischer Niederspannungsnetze. VDEW Verlag

#### Authors:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Westermann  
M.-Ing. Pedro Moreno  
Technische Universität Ilmenau, Gustav-Kirchhoff-Str. 1  
98684, Ilmenau  
Phone: +49 (03677) 69-2838  
Fax: +49 (03677) 69-1496  
E-mail: [dirk.westermann@tu-ilmenau.de](mailto:dirk.westermann@tu-ilmenau.de), [pedro.moreno@web.de](mailto:pedro.moreno@web.de)

Dr.-Ing. Peter Müller  
Stadtwerke Leipzig GmbH, Arno-Nitzsche-Str. 35  
04277, Leipzig  
Phone: +49 (0341) 121 3900  
Fax; +49 (0341) 121 3673  
E-mail: [peter.mueller@swl.de](mailto:peter.mueller@swl.de)

Dr.-Ing. Frank Büchner  
Siemens AG RD OST BLN PTD, Nonnendammallee 101  
13629, Berlin  
Phone: +49 (030) 386 35600  
Fax; +49 (030) 386 35802  
E-mail: [frank.buechner@siemens.com](mailto:frank.buechner@siemens.com)